

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representation of  
The original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) BUNDESREPUBLIK (12) ~~VEREINIGTES KÖNIGREICH~~

DEUTSCHLAND

(10) DE 297 22 130 U 1



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(21) Aktenzeichen: 297 22 130.2  
(22) Anmeldetag: 15. 12. 97  
(47) Eintragungstag: 26. 3. 98  
(43) Bekanntmachung  
im Patentblatt: 7. 5. 98

(41) Int. Cl. :  
**G 02 B 6/20**  
G 02 B 6/22  
G 02 B 1/04  
G 02 B 1/06  
F 21 V 8/00

DE 297 22 130 U 1

(73) Inhaber:  
Nath, Günther, Dr., 82031 Grünwald, DE

(54) Biegsamer Lichtleiter mit flüssigem Kern

DE 297 22 130 U 1

Biegsamer Lichtleiter mit flüssigem Kern

Die Erfindung betrifft einen Flüssigkeitslichtleiter gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der deutschen Patentanmeldung P 42 33 087 ist ein Flüssigkeitslichtleiter bekannt, welcher einen zylindrischen schlauchartigen Mantel, bestehend aus einem Fluorkohlenstoff-Polymer, und einen vom Mantel umgebenen Kern aus einer lichtleitenden wässrigen Lösung enthält. Der Mantel ist auf seiner Innenseite mit einer dünnen Schicht aus einem vollständig amorphen Copolymer, das auf einer Kombination von Tetrafluorethylen und einem perfluorierten zyklischen Ether basiert, überzogen. Das Copolymer, aus dem die Innenschicht besteht, ist von der Firma DuPont unter dem Handelsnamen Teflon® AF erhältlich.

Teflon® AF läßt sich in bestimmten perfluorierten Flüssigkeiten im Prozentbereich lösen, wobei sich als Lösungsmittel die Fluorinert-Flüssigkeiten FC 75, FC 77 oder FC 40 von der Firma 3 M eignen. Das Aufbringen der AF-Schicht auf die Innenoberfläche eines Fluorkohlenstoff-Schlauches wie z.B. Teflon® FEP geschieht in einfacher Weise durch Benetzung der Schlauchinnenfläche mit der Teflon® AF-haltigen Lösung und anschließender Verdunstung des Lösungsmittels mit Hilfe eines Luftstromes oder Unterdrucks. Die Dicke der Schicht beträgt einige wenige  $\mu$ , was im Falle eines FEP-Substrat-Schlauches für die Totalreflexion von sichtbaren und ultravioletten Strahlen ausreichend ist. Die Vorteile der totalreflektierenden Teflon®-AF-Schicht bestehen in dem extrem niedrigen Brechungsindex des Materials im Bereich 1,29 - 1,32, der absoluten Transparenz, die mit Quarzglas vergleichbar ist, und der chemischen Inertheit. Als Flüssigkeiten für den Lichtleiter werden die bereits seit über zwanzig Jahren bewährten, in DE 24 06 424 C2 und

P 40 14 363.5 beschriebenen wässrigen salzhaltigen Lösungen wie Chloride oder Phosphate wegen ihrer photochemischen Stabilität im ultravioletten Spektralbereich bevorzugt. Diese Flüssigkeiten, wie z.B.  $\text{CaCl}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in  $\text{H}_2\text{O}$ , sollten einen Brechungsindex aufweisen, der höher ist als der der totalreflektierenden Teflon® AF-Schicht, wobei wegen des extrem niedrigen Brechungsindex der Teflon® AF-Schicht bereits Brechzahlen ab  $n = 1,36$  für die Flüssigkeit verwendet werden können. Ein Wert von mindestens  $50^\circ$  für den optischen Aperturwinkel  $2\alpha$  sollte erreicht werden, wobei sich  $\alpha$  mit Hilfe der einfachen Formel:

$$\sin \alpha = \sqrt{n_{\text{Kern}}^2 - n_{\text{Mantel}}^2}$$

berechnen läßt.

Flüssigkeitslichtleiter mit einem Kern, bestehend aus einer wässrigen Phosphat-Lösung wie z.B. einer Lösung von  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in Wasser, die eine besonders hohe photochemische Stabilität im kurzwelligen ultravioletten UVB und UVC Spektralbereich aufweist (s. P 40 14 363.5), lassen sich eigentlich nur durch Verwendung einer totalreflektierenden Schicht mit einem Brechungsindex von etwa 1.31 wie z.B. mit Teflon® AF 1600 realisieren, da derartige Lösungen keinen höheren Brechungsindex als  $n = 1,38$  zulassen wegen Salzausfalls in der Kälte.

Ein weiterer Vorteil von Teflon® AF besteht darin, daß das Material auf Substraten bestehend aus Fluorkohlenstoff-Polymeren sehr gut haftet, insbesondere nach Durchführung eines Temperungsprozesses, bei welchem die Schicht auf Temperaturen bis knapp über die Temperatur ihres Glasüberganges erhitzt wird.

Ein gravierender Nachteil von Teflon® AF besteht in seinem extrem hohen Preis von US\$ 10,00 pro Gramm, der bei der Herstellung der Flüssigkeitslichtleiter merklich zu Buche schlägt. Ein weiterer Nachteil von Teflon® AF besteht darin, daß die

Haftung der Schicht nur auf Substratmaterialien gut ist, die ebenfalls wie Teflon® AF aus einem Fluorkohlenstoff-Polymer bestehen, und daß Filme aus Teflon AF nicht elastisch sind. Bei dem die Haftung verbessernden und von DuPont vorgeschriebenen Temperungsprozeß muß das System Schicht-Substrat auf Temperaturen über 160°C erhitzt werden, was eigentlich nur von Substratmaterialien aus Fluorkohlenstoffpolymeren toleriert wird.

Es wäre wünschenswert, ein Beschichtungsmaterial auch für andere Substratmaterialien als Fluorkohlenstoff Polymere verwenden zu können, um Flüssigkeitslichtleiter mit anderen mechanischen Eigenschaften wie z.B. erhöhter Flexibilität herstellen zu können.

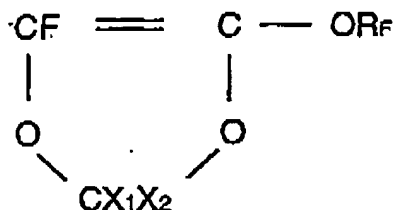
Dazu wäre ein perfluoriertes Copolymer geeignet, welches eine Glasübergangstemperatur deutlich unterhalb 160°C aufweist, so daß auch Substratmaterialien aus THV (3M), Polyurethan, Polyolefin, Silikon und andere verwendet werden können, welche thermisch weniger belastbar sind.

Des weiteren sollte ein solches zu Teflon® AF alternatives perfluoriertes Beschichtungsmaterial wie Teflon® AF weitestgehend amorph sein, einen Brechungsindex besitzen, der deutlich unterhalb dem von H<sub>2</sub>O liegt und ebenfalls wie Teflon® AF in gewissen perfluorierten Flüssigkeiten wie FC 75 oder FC 77 von 3M im Prozentbereich löslich sein, so daß ein einfaches Beschichtungsverfahren für die Innenoberfläche von Plastik-Schläuchen durch Benetzung mit der Lösung des amorphen Fluorpolymers möglich ist.

Letztlich wäre es wünschenswert, wenn das zu AF alternative perfluorierte amorphe Copolymer einfacher herzustellen wäre und somit auf dem Markt zu einem Preis deutlich unterhalb 10,00 US\$/g angeboten werden könnte.

Von der Firma Ausimont S.p.A. wird in der EO 0 720 992 A1 ein perfluoriertes

Copolymer von Tetrafluorethylen (TFE) beschrieben, welches neben TFE noch ein weiteres perfluoriertes Monomer in Form eines zyklischen perfluorierten Fluordioxols (PFD) mit folgender Struktur enthält:



wobei  $R_F$  ein Perfluoralkyl mit 1 - 5 C-Atomen und  $X_1X_2$  unabhängig voneinander  $-F$  oder  $-CF_3$  sein können.

Neben dem zyklischen Monomer PFD können noch weitere perfluorierte Monomere wie Hexafluorpropylen (HFP) oder Perfluorpropylvinyläther in dem Copolymer enthalten sein.

Man kann die quantitative Zusammensetzung dieses perfluorierten Copolymers so variieren, daß man ein weitestgehend amorphes Material erhält, welches in der Flüssigkeit FC 75 (3M) im Prozentbereich löslich ist, einen optischen Brechungsindex (gemessen bei  $\lambda = 400\text{nm}$ ) zwischen 1,31 - 1,32 aufweist, eine hervorragende Transparenz im ultravioletten und sichtbaren Spektralbereich hat und darüber hinaus eine Glasübergangstemperatur zwischen  $100^\circ\text{C}$  und  $140^\circ\text{C}$  je nach quantitativer Zusammensetzung besitzt.

Da dieses Material nicht, wie Teflon® AF, die technisch schwer zu beherrschende Monomer-Komponente PDD (Perfluoro-2,2 Dimethyl-1,3-Dioxol) aufweist, läßt es sich auch einfacher herstellen und bedeutend preiswerter anbieten.

Die Haftung des TFE/PFD Polymermaterials von Ausimont auf den als

Substratmaterialien bevorzugten Fluorkohlenstoff-Materialien wie z.B. Teflon® FEP, Hyflon® MFA, THV (3M) ist ebensogut wie die von Teflon® AF auf den genannten Materialien. Die Verbesserung der Transmission von bekannten Flüssigkeitslichtleitern, bestehend aus Teflon® FEP-Schläuchen, gefüllt mit wässrigen salzhaltigen Lösungen, sowie die Erhöhung der numerischen Apertur der Lichtleiter durch Innenbeschichtung der FEP-Schläuche mit dem Ausimont-Copolymer ist ähnlich gut wie bei der Innenbeschichtung mit Teflon® AF so wie beschrieben in P 42 33 087.

Ähnlich wie zu Teflon® AF, s.a. P 196 46 928.7, läßt sich zu dem Copolymeren TFE/PFD der Firma Ausimont ein Perfluoropolyether (PFPE), wie z.B. Galden® (Ausimont) oder Fomblin® (Ausimont) oder Krytox® (DuPont) beimischen, wobei man bis zu 200 Gewichtsprozenten des PFPE beimischen kann, um auf diese Weise die Kosten für eine Schicht mit definierter Schichtdicke weiter abzusenken. Die Mischschicht läßt sich in einfacher Weise herstellen, durch Beigabe einer entsprechenden Menge des PFPE in die TFE/PFD-FC 75-Lösung. Vorzugsweise hat der beigemischte PFPE einen Siedepunkt  $> 220^{\circ}\text{C}$ , noch besser  $> 250^{\circ}\text{C}$ , so daß der PFPE bei Erwärmung nicht aus der Schicht ausdiffundiert.

In einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Flüssigkeitslichtleiters besteht der schlauchförmige Mantel aus Teflon® FEP und weist z.B. folgende Maße auf:  $\varnothing_i = 5\text{mm}$ ,  $\varnothing_a = 6\text{mm}$ ,  $L = 3000\text{mm}$ . Auf seiner Innenoberfläche ist der FEP-Schlauch mit einer ca 3 -  $4\mu$  dicken Schicht aus dem Ausimont-Copolymer TFE/PFD versehen, welche aus Lösung durch einfaches Benetzen der Schlauchinnenfläche mit anschließender Verdunstung des perfluorierten Lösungsmittels (FC 75 von 3M) hergestellt wird.

Eine anschließende Temperung oberhalb der Glasübergangstemperatur des Ausi-

mont-Copolymers bei ca. 145°C verbessert die Haftung der Schicht auf dem Substrat. Nach dem Tempern wird der beschichtete FEP-Schlauch mit einer wässrigen ionischen Lösung, z.B. mit einer wässrigen  $\text{CaCl}_2$  ( $n = 1,435$ ) oder  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ( $n = 1,38$ ) Lösung gefüllt, wobei die offenen Enden des FEP-Schlauches in bekannter Weise mit zylindrischen polierten Stöpseln aus Quarzglas abgedichtet werden.

Statt wässriger ionischer Salzlösungen können als Füllflüssigkeiten auch Glykole wie z.B. Triethylenglykol oder DMSO mit Zusätzen von Wasser verwendet werden. Auch reines Wasser als Füllflüssigkeit weist schon Lichtleitung auf wegen des geringen Brechungsindex des Copolymers von Ausimont.

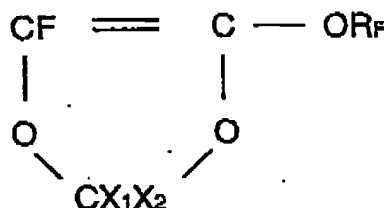
In den verschiedenen Füllflüssigkeiten vorkommendes  $\text{H}_2\text{O}$  kann auch teilweise oder ganz durch  $\text{D}_2\text{O}$  ersetzt werden, was eine Verbesserung der Transmission im roten Spektralbereich zur Folge hat.

Die Transmission eines derartigen Flüssigkeitslichtleiters im blauen und auch im nahen ultravioletten Spektralbereich beträgt über 80%, wobei nur 65% Transmission gemessen wird, wenn der FEP-Schlauch nicht innen beschichtet ist.



Patentansprüche

1. Flüssigkeitslichtleiter aus einem zylindrischen schlauchförmigen Mantel aus Plastik oder Glas, der innen mit einer Flüssigkeit mit einem Brechungsindex  $n_0 \geq 1,33$  gefüllt ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Mantel auf seiner Innenoberfläche mit einer dünnen Schicht aus einem Copolymer mit geringer Restkristallinität, hoher Transparenz und mit einem Brechungsindex, der  $\leq 1,325$  beträgt, beschichtet ist, wobei das Copolymer aus dem Monomer Tetrafluorethylen und mindestens einem weiteren perfluorierten zyklischen Monomer besteht, welches aus der Gruppe der Fluordioxole stammt und folgende Struktur aufweist:



worin  $R_F$  ein Perfluoralkyl mit 1 - 5 C-Atomen sein kann und  $X_1X_2$  unabhängig voneinander aus - F oder  $-\text{CF}_3$  bestehen.

2. Flüssigkeitslichtleiter nach Anspruch 1., dadurch gekennzeichnet, daß das Copolymer noch weitere perfluorierte Monomere wie z.B. Hexafluorpropylen (HFP) oder Perfluoralkylvinyläther enthält.

3. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch

gekennzeichnet, daß das Fluordioxol mit einem Anteil des Mol-Gewichts von  $\geq 8\%$  in dem die Schicht bildenden Copolymer enthalten ist.

4. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasübergangstemperatur des Copolymeren zwischen  $70^{\circ}\text{C}$  und  $160^{\circ}\text{C}$  liegt.

5. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der Ansprüche 1. -4., dadurch gekennzeichnet, daß das die Schicht bildende Copolymer einen beigemischten Perfluorpolyether mit einem Siedepunkt  $\geq 220^{\circ}\text{C}$  enthält.

6. Flüssigkeitslichtleiter nach Anspruch 5., dadurch gekennzeichnet, daß der Perfluorpolyether, welcher dem die Schicht bildenden Copolymer beigemischt ist, in einem Gewichtsanteil von 5% - 200%, gemessen an dem Copolymeren, in der Schicht enthalten ist.

7. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Schicht zwischen  $1\mu$  und  $10\mu$  liegt.

8. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zylindrische schlauchförmige Mantel aus einem Fluorkohlenstoffpolymer wie Teflon® FEP oder Hyflon® MFA oder Teflon® PFA oder Teflon®PTFE oder Teflon® ETFE oder Teflon® PCTFE oder THV (3M) besteht.

9. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zylindrische schlauchförmige Mantel aus Glas oder aus einem anderen nicht fluorhaltigen Plastikmaterial wie z.B. PVC, Polyolefin, Polyurethan, Silikon oder PE besteht.

10. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die den Innenraum des schlauchförmigen, innen beschichteten Mantels ausfüllende Flüssigkeit aus Wasser oder einer wässrigen ionischen Lösung wie z.B.  $\text{CaCl}_2$  in Wasser oder  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in Wasser besteht, wobei Wasser auch schweres Wasser sein kann.

11. Flüssigkeitslichtleiter nach einem der Ansprüche 1. - 9., dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit ein Glykol wie z.B. Triethylenglykol oder DMSO enthält.

IDEM No. 02-03-095C PAGE 1

(19) **Federal Republic  
of Germany  
[Eagle]  
German  
Patent Office**

(12) **Utility Model**  
(10) **DE 297 22 130 U1**

(21) File Number: 297 22 130.2  
(22) Application Date: 7/12/98  
(47) Date Recorded: 3/26/98  
(45) Announcement in  
Parent Gazette: 5/7/98

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
**G 02 B 6/20**  
**G 02 B 6/22**  
**G 02 B 1/04**  
**G 02 B 1/06**  
**F 21 V 8/00**

(73) Owner:  
Nath, Guenther, Dr., 82031 Gruenwald, DE

(72) Inventor  
Same as applicant

(54) Pliable light conductor with liquid core

IDEM No. 02-03-096C PAGE 2

**Pliable light conductor with liquid core**

The invention concerns a liquid light conductor in accordance with the main concept of Claim 1.

A liquid light conductor from German Patent Application P 42 33 087 is known, which includes a cylindrical tubular sheath consisting of a fluorocarbon polymer and a core surrounded by the sheath of a light conducting aqueous solution. On its inner surface, the sheath is covered with a thin coating of a completely amorphous copolymer that is based on a combination of tetrafluoroethylene and a perfluorinated cyclic ether. The copolymer of which the inner coating consists is available from the DuPont company under the trade name Teflon® AF.

Teflon® AF, insoluble in certain perfluorinated liquids in the percentage range, where fluorinated liquids FC 75, FC 77 or FC 40 from the 3M company are suitable as solvents. The application of the AF coating to the internal surface of a fluorocarbon tube such as, for example, Teflon® FEP, is done simply, through the polymerization of the tube inner surface with the solution containing Teflon® AF and then evaporating the solvent with the aid of an air stream or partial vacuum. The thickness of the coating is a few  $\mu$ , which is sufficient in the case of an FEP substratum tube, for the total reflection of visible and ultraviolet rays. The advantages of the totally reflecting Teflon® AF coating consists in the extremely low refractive index of the material in the range of 1.29 – 1.32, the absolute transparency that is comparable to quartz glass and its chemical inertness. As liquids for the light conductor, the aqueous salt-containing solutions such as chlorides or phosphates in DE 24 06 424 C2 and P 40 14 363.5 that have been proven already for over twenty years are preferred, due to their photochemical stability in the ultraviolet spectral range. These liquids, such as for example  $\text{CaCl}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in  $\text{H}_2\text{O}$ , should have a refractive index that is higher than that of the total reflecting Teflon® AF coating, where, due to the extremely low refractive index of the Teflon® AF coating, refractive indices as low as  $n = 1.36$  can be used for the

IDEM No. 02-03-096C PAGE 3

liquid. A value of at least  $50^\circ$  should be reached for the optical aperture angle  $2\theta$ , where  $\theta$  can be calculated with the aid of the simple formula:

[see original for formula; Kern = core; Mantel = sheath]

Liquid light conductors with a core consisting of an aqueous phosphate solution such as, for example, a solution of  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in water, which has an especially high photochemical stability in the short-wave ultraviolet UVB and UVC spectral range (cf. P 40 14 363.5), can be achieved actually only through the use of a total reflective coating with a refractive index of about 1.31 such as, for example, with Teflon® AF 1600, since such solutions do not permit a higher refractive index as  $n = 1.38$ , due to the salt precipitation at low temperatures.

A further advantage of Teflon® AF consists in the fact that the material adheres very well to substrata consisting of fluorocarbon polymers, especially after a tempering process is carried out in which the coating is heated to temperatures to just over the temperature of its glass transition.

A grave disadvantage of Teflon® AF consists in its extremely high price of US \$10.00 per gram, which noticeably affects the costs of manufacture of liquid light conductor. A further disadvantage of Teflon® AF consists in the fact that the adhesion of the coating is good only on substratum materials that, like Teflon® AF, consist of a fluorocarbon polymer, and that films of Teflon® AF are not elastic. In the case of the tempering process, which improves adhesion and is prescribed by DuPont, the coating-substratum system must be heated to temperatures of above  $160^\circ\text{C}$ , which is actually tolerated only by substratum materials of fluorocarbon polymers.

It would also be desirable to be able to use a coating material for a substratum material other than fluorocarbon polymers as well in order to manufacture liquid light conductors with other mechanical properties such as, for example, increased flexibility.

IDEM No. 02-03-096C PAGE 4

For this, a perfluoridated copolymer that has a glass transition temperature well below 160°C would be suited, so that even the substratum materials of THV (3M), polyurethane, polyolefin, silicone and others can be used, which are less thermally resistant.

Furthermore, such a perfluoridated coating material alternative to Teflon® AF, must, to the greatest extent possible, be amorphous like Teflon® AF, must have a refractive index that lies clearly below that of H<sub>2</sub>O and must be soluble in the percentage range, just as Teflon® AF is in certain perfluoridated liquids such as FC75 or FC77 from 3M, so that a simple coating procedure is possible for the internal surface of plastic tubes through polymerization with the solution of the amorphous fluoropolymer.

Finally, it would be desirable if the perfluoridated amorphous copolymer were easier to manufacture and therefore could be offered on the market at a price substantially below \$10.00 per gram.

The company Ausimont S.p.A. describes, in EO 0 720 992 A1, a perfluoridated copolymer of tetrafluoroethylene (TFE), which, in addition to TFE, contains a further perfluoridated monomer in the form of a cyclic perfluoridated fluorodioxol (PFD) with the following structure:

[See original for structure]

where R<sub>F</sub> can be a perfluoroalkyl with 1-5 C atoms and X<sub>1</sub>X<sub>2</sub> consist independently of each other of -F or -CF<sub>3</sub>.

In addition to the cyclic monomer PFD, further perfluoridated monomers such as hexafluoropropylene (HFP) or perfluoropropyl vinyl ether may be contained in the copolymer.

The quantitative composition of this perfluoridated copolymer can be varied in such a manner that a material that is amorphous to the greatest extent possible is obtained, which is soluble in the liquid FC 75 (3M) in the percentage range, with an optical refractive index (measured at λ = 400 nm) between 1.31 – 1.32, which has an outstanding transparency in the ultraviolet and visible spectral range and furthermore

IDEM No. 02-03-096C PAGE 5

has a glass transition temperature between 100°C and 140°C, depending upon the quantitative composition.

Since this material does not contain, as does Teflon® AF, the PDD monomer component (perfluoro-2,2, dimethyl-1,3-dioxol), which is technically difficult to manage, it is also easier to manufacture and can be offered for sale at a significantly lower price.

The adhesion of the TFE/PFD polymer material from Ausimont to the fluorocarbon materials preferred as substratum materials such as, for example, Teflon® FEP, Hyflon® MFA, THV (3M) is just as that of Teflon® AF to the materials named. An improvement in transmission of known liquid light conductors, consisting of Teflon® FEP tubes, filled with aqueous salt solutions, as well as the increase in the numerical aperture of the light conductor as a result of internal coating of the FEP tubes with the Ausimont copolymer, is as good as with the internal coating of Teflon® AF, as described in P 42 33 087. Like with Teflon® AF, see also P 196 46 928.7, a perfluoropolyether (PFPE) such as, for example, Galden® (Ausimont) or Fomblin® (Ausimont) or Krytox® (DuPont), can be mixed in with the TFE/PFD copolymer from the Ausimont company, where up to 200 percent of the weight of the PFPE can be mixed in, so as to further decrease the cost of a coating with a defined coating thickness. The mixed coating can be produced in a simple manner by adding a corresponding amount of the PFPE into the TFE/PFD-FC 75 solution. Preferably, the PFPE added has a boiling point > 220°C, even better > 250°C, so that the PFPE does not diffuse out of the coating when heated.

In a sample embodiment of the liquid light conductor in accordance with the invention, the tubular sheath consists of Teflon® FEP and has, for example, the following dimensions: inside Ø = 5 mm, outside Ø = 6 mm, L = 3000 mm. On its internal surface, the FEP tube is provided with an approximately 3-4 µ thick coating of the TFE/PFD Ausimont copolymer, which is produced from solution by one-time



IDEM No. 02-03-096C PAGE 6

polymerization of the tube's inner surface with subsequent evaporation of the perfluorinated solvent (FC 75 from 3M).

A subsequent tempering above the glass transition temperature of the Ausimont copolymers at about 145°C improves the adhesion of the coating on the substratum. After tempering, the coated FEP tube is filled with an aqueous ionic solution, for example, with an aqueous  $\text{CaCl}_2$  ( $n = 1.435$ ) or  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ( $n = 1.38$ ) solution, where the open ends of the FEP tube are sealed in a known manner with cylindrical polished plugs made of quartz glass.

Instead of aqueous ionic salt solutions, glycols such as, for example, triethylene glycol or DMSO with added water can be used. Even pure water as a fill liquid will conduct light, due to the low refractive index of the copolymer from Ausimont.

The  $\text{H}_2\text{O}$  in the various fill liquids can also be partially or entirely replaced with  $\text{D}_2\text{O}$ , which results in an improvement of the transmission in the red spectral area.

The transmission of such a liquid light conductor in the blue and also in the ultraviolet spectral areas is over 80%, where only 65% transmission is measured if the FEP tube is not coated internally.

IDEM No. 02-03-096C PAGE 7

Patent Claims

1. Liquid light conductor made of a cylindrical tubular sheath of plastic or glass, which, on its inside, is filled with a liquid with a refractive index  $n_0 \geq 1.33$ , characterized in that, the sheath is coated on its internal surface with a thin coating of a copolymer with low residual crystallinity, high transparency and with a refractive index  $\leq 1.325$ , where the copolymer consists of the monomer tetrafluoroethylene and at least one further perfluorinated cyclic monomer, which comes from the group of the fluorodioxols and has the following structure:

[see original for structure]

where  $R_F$  can be a perfluoroalkyl with 1 – 5 C atoms and  $X_1$ - $X_2$  independently of each other consist of  $-F$  or  $-CF_3$ .

2. Liquid light conductor according to Claim 1, characterized in that the copolymer contains still further perfluorinated monomers such as, for example, hexafluoropropylene (HFP) or perfluoroalkyl vinyl ether.

3. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that the fluorodioxol is contained with a portion of the mol weight of  $\geq 8\%$  in the copolymer forming the coating.

4. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that the glass transition temperature of the copolymer lies between 70°C and 160°C.

IDEM No. 02-03-096C PAGE 8

5. Liquid light conductor according to one of the claims 1-4, characterized in that the copolymer that forms the coating contains an added perfluoropolyether with a boiling point  $\geq^{\circ}\text{C}$ .
6. Liquid light conductor according to claim 5, characterized in that the perfluoropolyether, which is mixed into the copolymer forming the coating, is contained the coating in an amount by weight of 5% - 200%, measured against the copolymer.
7. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that thickness of the coating is between 1  $\mu$  and 10  $\mu$ .
8. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that the cylindrical tubular sheath consists of a fluorocarbon polymer such as Teflon® FEP or Hyflon® MFA or Teflon® PFA or Teflon® PTFE or Teflon® ETFE or Teflon® PCTFE or THV (3M).
9. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that the cylindrical tubular sheath consists of glass or another plastic material not containing fluorine, such as, for example, PVC, polyolefin, polyurethane, silicone or PE.
10. Liquid light conductor according to one of the foregoing claims, characterized in that the liquid filling the interior of the tubular sheath which is coated on the inside consists of water or an aqueous ionic solution such as  $\text{CaCl}_2$  in water or  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in water, where the water can also be heavy water.

IDEM No. 02-03-096C PAGE 9

11. Liquid light conductor according to one of the claims 1-9, characterized in that the liquid contains a glycol such as, for example, triethylene glycol or DMSO.